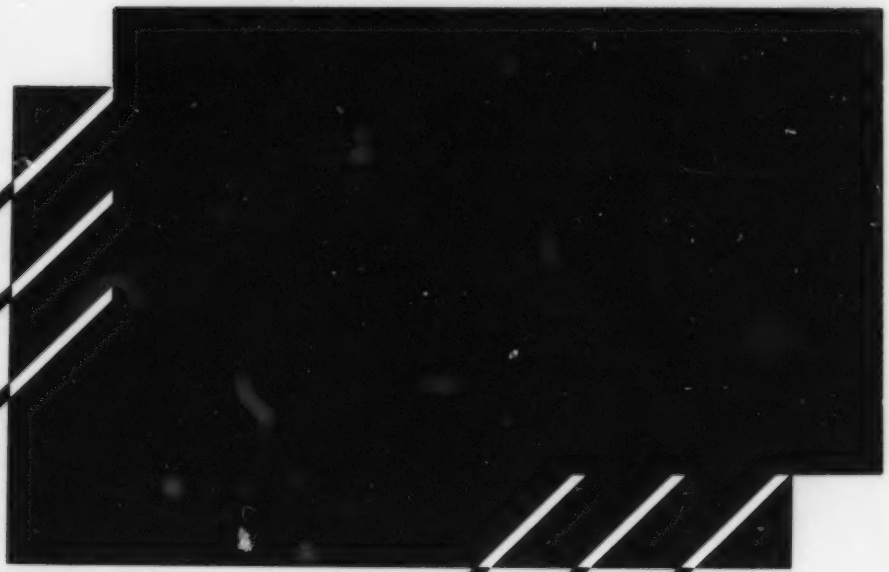
Gouvernement du Canada
Ministère des Communications

Government of Canada
Department of Communications

Le Centre canadien de recherche sur l'informatisation du travail
Canadian Workplace Automation Research Centre



Canada

Government of Canada
Department of Communications
Canadian Workplace Automation
Research Centre

The Expert Systems Group

Elements for Building Expert Systems

December 1989

Joël Muzard
Kimiz Dalkir
Patrick Aboussouan
Ron Ferguson
Christine Gariépy
Lyne Champagne

92-05710/

No de cat. Co 28-1/44-1989E
ISBN 0-662-17458-5

The opinions expressed in this document are those of the authors only.

* Une version française de ce document est aussi disponible.

Table of contents

INTRODUCTION 4

1. Preliminary notions
- a) Knowledge engineering in organizations 4
- b) Artificial intelligence and cognitive science
  - theoretical basis 5
- c) knowledge-based systems and expert systems 6

2. Individuals involved in carrying out a project
- 2.1 Knowledge engineer 6
- 2.2 User 6
- 2.3 Expert 6
- 2.4 Project manager 6

3. The architecture of expert systems
- 3.1 Facts base 6
- 3.2 Knowledge base
  - first-order logic 7
  - production rules 7
  - semantic networks 7
  - frames 7
- 3.3 Inference engine 8
- 3.4 Interfaces. 8

4. Stages in building expert systems 9

5. Expert system development tools
- 5.1 Available tools 10
- 5.2 Desirable tools 10

CONCLUSION 11

APPENDICES

Appendix I - Some application of knowledge-based systems 12

Appendix II - Knowledge engineer's roles 13

Appendix III - When to use expert system technology 14

Appendix IV - Architecture of expert systems - summary 15

Appendix V - Expert system evaluation criteria 16

Appendix VI - Summary table - negotiation 17

REFERENCES 18

THEMATIC BIBLIOGRAPHY 19

Note:use of the masculine is in no way discriminatory and is intended only to make the text less awkward.

Tables and figures

List of tables

Table I Artificial Intelligence Programs Characteristics. 5

Table II Stages in Building Expert Systems: Description. 10

Table III Development Tools and Purpose They Would Accomplish 11

List of figures

Figure 1 Example of a Semantic Network 7

Figure 2 Frame Example 7

Figure 3 Reasoning According to Each Inference Method 8

Figure 4 Hayes-Roth Method. 9

INTRODUCTION

Some concrete solutions to the perfectly legitimate desire of organizations to be more productive and more competitive have appeared in recent years with the development of computer systems. Management systems, data bases, word processing are all tools designed to support organizations in the accomplishment of their daily work.

Today, new and even more efficient tools are available: knowledge-based systems, and more specifically, expert systems.

Dedicated to management of the expertise of an organization in a particular domain, expert systems offer many advantages:

- They organize and preserve the knowledge of experts in the organization.

- They give less experienced workers access to the knowledge of others.

- They prevent knowledge from being lost when experts leave.

- They support and improve decision-making by experts and managers.

Many years of research and considerable effort have been spent in developing artificial intelligence systems. It is essential that we continue this work, which opens up new horizons for organizations.

The document presented here, Elements for Building Expert Systems, reviews the theoretical basis of expert systems and their architecture, and describes the building stages and tools - computer hardware and software - used in these systems and the role of those involved in the process.

In short, this document is intended as a first step towards an understanding of expert systems and the potential they offer for your organization.

1. PRELIMINARY NOTIONS

a) Knowledge engineering in orgazations

During the 1970', organizations became aware that data was a resource that had to be managed in the same way as human or material resources.

Today, "after having acquired control over their data, organizations are faced with a new necessity... gaining control over the knowledge at work within the organization. A number of facts demonstrate that this problem, which has generally gone unnoticed up to now, is taking on ever-greater importance. The increasing sophistication of the technology used in all sectors of organizational activity has brought about an increase in employee training time, while increasing their degree of specialization. More and more time is thus needed to train skilled workers, whose degree of specialization is then difficult to adapt to other areas of activity (emphasis is ours)."(1)

We are in fact moving towards a new approach to computers in organizations: knowledge engineering, or the development of systems that process the knowledge of a given domain to resolve complex problems. This new discipline makes use of contributions from the fields of artificial intelligence and cognitive sciene.

(1) Bernard Moulin et Marie-Michèle Boulet. De la gestion des données à la gestion des connaissances dans l'organisation, pp.277.

b) Artificial intelligence and cognitive science - theoretical basis

Artificial intelligence is defined as "the area of study in computer science concerned with the development of a machine that can engage in humanlike thought processes such as reasoning, learning and self-correction".(2)

Contrary to classical programs, where the computer needs all the necessary data and a precise problem-solving procedure to function, artificial intelligence programs can cope quite well with vague and incomplete data.

Table I gives a brief résumé of their characteristics.

Cognitive science draws on the most recent discoveries in psychology, computer science, linguistics, philosophy, the neurosciences and many other fields. Although this new discipline is closely linked to artificial intelligence, it does differ slightly: whereas artificial intelligence creates systems taking into account the limitations of machines currently available (or to come), cognitive science instead uses the «architecture» of human intelligence as its model.(3)

TABLE 1
ARTIFICIAL INTELLIGENCE PROGRAMS CHARACTERISTICS

CHARACTERISTICS	DEFINITION	REMARKS
1. Heuristic-approach	Problem-solving method using several variables and working by "successive approximations" towards a solution. Opposite of algorithmic method.	See "Heuristics" in Silvya Pavel, Artificial Intelligence Vocabulary
2. Knowledge representation	Correspondence between outside world and symbolic system makes reasoning possible.	
3. Ability to reason with incomplete data		E.g.: knowledge-based systems and expert systems (see Chapter Ic)
4. Learning capacity		Based on new data entered, the system uses its reasoning mechanisms to add new conclusions which increase its "intelligence".

(2) "Intelligence artificielle" as defined in the Grand dictionnaire encyclopédique Larousse, vol. 6, p. 5624.

(3) See "Cognitive science" in: Stuart C. Shapiro, David Eckroth et George A. Vallasi, Encyclopedia of artificial intelligence, vol.1, pp. 120-121.

c) Knowledge-based systems and expert systems

Knowledge-based systems are artificial intelligence programs that use specialized knowledge to solve problems. An expert system is a particular type, using the knowledge and expertise of an expert in a specific field.[4]

An expert system is in fact a program containing a large amount of knowledge in a specialized field (this knowledge is normally obtained from a highly competent human expert); it is capable of achieving expert performance in this field.[5] The user consults the expert system just as if it were a human expert, explaining the problem, making suggested tests, requesting explanations about proposed solutions, etc.

2. INDIVIDUALS INVOLVED IN CARRYING OUT A PROJECT

2.1 Knowledge engineer

The knowledge engineer[6] acquires the knowledge and expertise of the expert and then translates it into a language the computer can use. With his knowledge of computer hardware and software, the knowledge engineer is well placed to advise the organization on the best possible choice.

2.2 User

The raison d'être of the project is the user, since he will be using the system in his work. From this point of view, the expert system must adapt to the user and not the reverse, and the knowledge engineer must accordingly ensure that:

- the system meets the user's needs;
- the user considers it useful for his work;
- the user has been consulted and his suggestions incorporated into the system.

2.3 Expert

The expert possesses the knowledge and expertise needed to solve problems. This knowledge is transformed into a program that can then simulate the procedures used by the expert.

2.4 Project manager

The project manager negotiates the project, manages it and directs the building team (knowledge engineer, expert, user). Before the start-up of the project, he discusses with these individuals the relevance of using the technology envisaged.[7] During the negotiation period, the project manager acts as the liaison between the requirements expressed by the various parties involved and the resources available.

3. THE ARCHITECTURE OF EXPERT SYSTEMS

Since human expertise uses methods such as intuition and rules of thumb (and not exclusively upon logical reasoning), the specific knowledge of a domain and the mechanisms for interpreting it are represented separately. If the situation changes, it is much easier to modify the system. Expert systems are generally composed of the following modules:[8]

3.1 Facts base

This includes the facts of the domain and the specific facts of the problem to be solved (data). In a domain such

(4) See "Knowledge-based system" in: V. Daniel Hunt, Artificial Intelligence and Expert Systems Sourcebook. pp. 147-148. For Knowledge-based systems various applications, see Appendix I.
(5) Alain Bonnet: Systèmes experts: vers la maîtrise technique, p. 44.
(6) Knowledge engineer: Person who acquires knowledge from experts, organizes and tramperts it into a compularized program. Can be of different background: computer science, psychology, etc. For more information of its role in the building process, consult Appendix II.
(7) See Appendix III : When to Use Expert System technology
(8) See Appendix III.

as accounting, the facts would be: current expenses, assets, liabilities, etc. The facts base is thus the working memory of an expert system.

3.2 Knowledge base

The knowledge base is made up of knowledge organized into various forms[9], some of which are:

- first-order logic

This category includes simple reasoning such as syllogisms[10]. A well-known example is:

«All men are mortal»
(Proposition 1)
«Socrates is a man»
(Proposition 2)
«Therefore, Socrates is mortal»
(Proposition 3).

- production rules

These are «if-then» rules. A medical diagnostic system might contain the following rule:

IF the patient is feverish AND the patient's nose is running, THEN it is very likely the patient has a cold.

- semantic networks

It is often convenient to represent knowledge in the form of semantic networks. A semantic network is a way of organizing knowledge in which concepts are arranged in an interconnecting hierarchy. Figure 1 provides an example.

- frames

In many cases, it is very useful to collect several pieces of knowledge into an overall information unit, the frame. In the system below, each bit of information on an electrical component will be considered as a drawer in a frame called "electrical component", as shown in Figure 2.

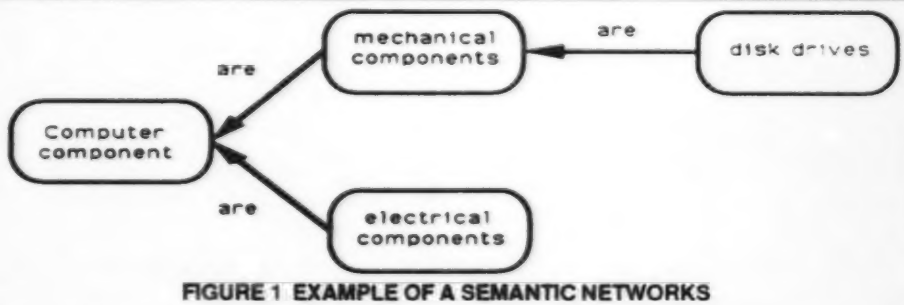


FIGURE 1 EXAMPLE OF A SEMANTIC NETWORKS

Electrical component	
Part no.	
Length	
Width	
Height	
Voltage	

FIGURE 2 FRAME EXAMPLE

(9) Examples are in large part extract from Fred L. Luconi and al. Expert Systems and Expert Support Systems : The Next Challenge for Management.

(10) Syllogism: an argument with two premises [major and minor] and a conclusionwhich is a deductive reasoning (Petit Larousse en couleurs, 1980, p. 892. In production rules, the order of the premises does not necessarily have influence on the conclusion.

This means of organizing knowledge makes it unnecessary to enter superfluous data. If the implicit voltage of Component X is 110V, the system will automatically deduce that, unless otherwise stated, all new components operate at a similar voltage. As well, if one of the variables (length, width, etc.) were to change, it would adapt all the others to maintain a balance.

3.3 Inference engine [11]

This component uses the knowledge base to draw conclusions about the problem. It contains inference methods for solving the problems submitted to it: forward chaining and backward chaining. The method chosen depends on the nature of the problem and the forms of knowledge used.[12]
Figure 3 gives an example of each method. The situation is as follows: an investor wants to avoid paying too much income tax. He has $100,000 and is prepared to take considerable risks. He asks the system which investment (A or B) is the better.

3.4 Interfaces

An interface is defined as "the means of interaction between two... systems that handle data in different ways, such as different codes or formats".[13] In an interface, we give the specific nature and form of the data and commands to be exchanged.

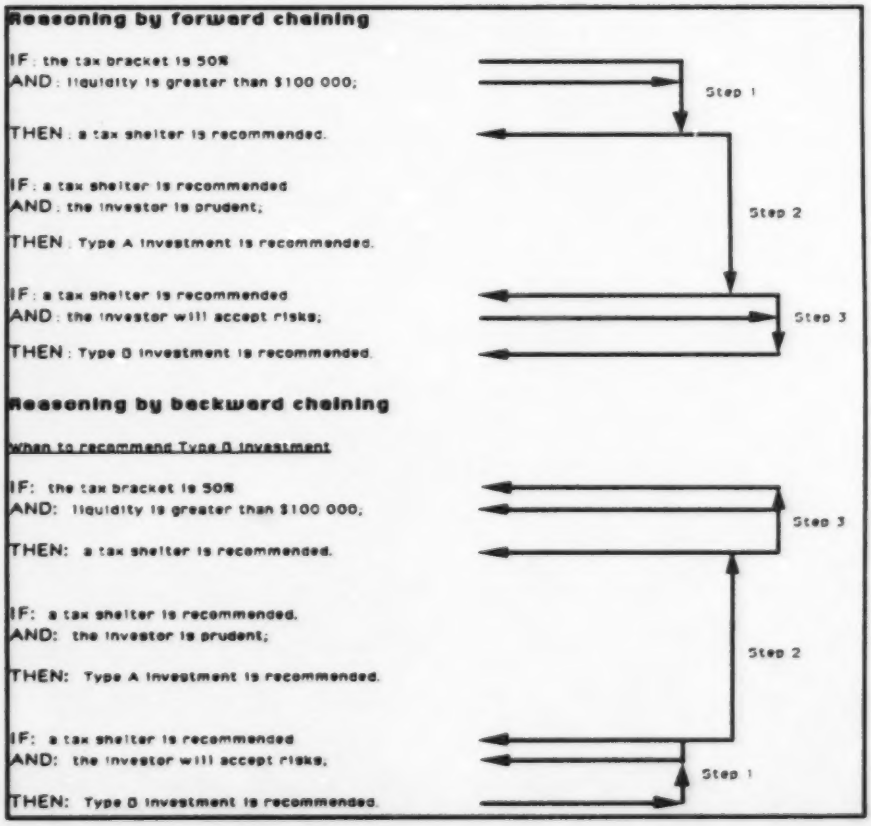


Figure 3 REASONING ACCORDING TO EACH INFERENCE METHOD

(11)**Inference** : logical reasoning by wich a premise is assumed by its link to other premises already claimed to be true (Petit Robert, 1977, p.998).
Inference process : the process of arriving at some conclusion which, though it is not logically derivable from the assumed premises, possesses some degree of problbility relative to the premises (The American College Dictionary Ramdon House New York , p. 622)."
(12) See chapter 3.2.
(13) "Interface" in: Pierre Morvan, Dictionnaire de l'informatique, p. 162.

As mentioned, there are two types of interface: the interface with other systems (expert or other) and the user interface, which should allow for easy data entry. In most cases, this consists of answering questions posed by the system. In this area, there is an increasing trend to user- friendliness, i.e., ease of access and use of the computer system.

4. STAGES IN BUILDING EXPERT SYSTEMS

Researchers have proposed several methods.

One of these methods, by Hayes-Roth et al.[14] is shown in Figure 4.

The method used by the Expert Systems Group can be adapted to the project partners, their limitations and their objectives. This is why we have added negotiation and approval stages. Each stage is approached using the problem-solving method[15].

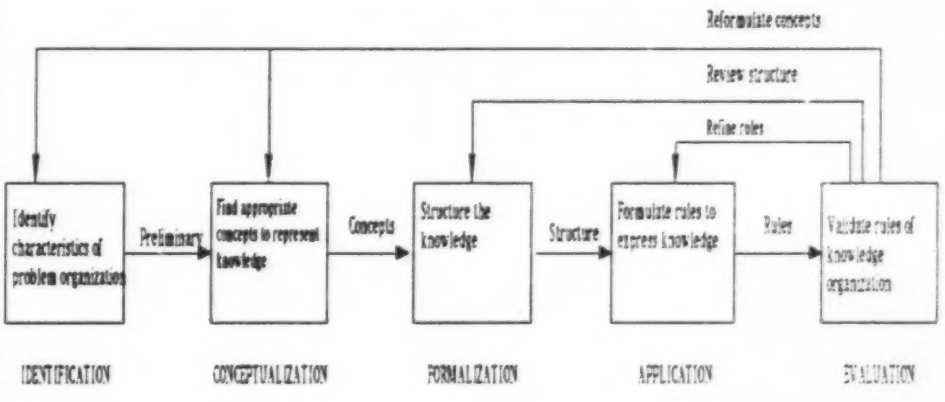


Figure 4 HAYES-ROTH METHOD

(14) Frederick Hayes-Roth and al. Building expert systems, p. 139.

(15)This method is described by Georges Polya in his book called How to solve it and summarized as such:

Problem solving:

1. Understand the problem;

2. Prepare a plan;

3. Execute the plan;

4. Estimate the solution;

TABLE II
STAGES IN BUILDING EXPERT SYSTEMS: DESCRIPTION

STAGES	OBJECTIVES	ACTION	RESULTS
Negociation	- agree with partners - identify problem(s) the organization wants to solve - note needs - identify human, material and financial resources	- meet with partners to identify problems to be solved - analyse development context -see Appendix VI for a summary or consult Negotiation of Expert System projects	- agreement between partners - planning document - definition of each party's contribution
Definition	- identify potential user characteristics - determine domain and experts	- meet with potential users of system and experts - identify duties and constraints - define performance criteria	- description of domain - identification of users, their needs and characteristics of system
Design	- define prototype architecture	- find concepts to represent expert knowledge and expertise - identify inference methods - define system modules - choose software	- conceptual definition of prototype
Developement	- develop prototype 1. acquisition of knowledge and expertise 2. knowledge representation 3. system validation	- meet with experts - set up software tools to favour acquisition of knowledge - transfer and representation in knowledge base of system	EXPERIMENTAL PROTOTYPE
Approval	- Evaluate system and validate its behaviour	- see Appendix V	- prototype to be revised based on results observed; recommence past stages if needed - final report

Table II describes the objectives, actions and results of each stage.

5. EXPERT SYSTEM DEVELOPMENT TOOLS

5.1 Available tools

To put together an expert system, knowledge engineers use either conventional programming languages, or expert system shells, specialized software that provides reasoning mechanisms. The choice of one type of tool rather than another is based on the nature of the problem or the situation to be improved. This is a point to be discussed with the knowledge engineer.

5.2 Desirable tools

Other tools might make research and development work easier. These tools would take into account:

- all phases in the life cycle of an expert system;
- factors such as productivity, quality and reliability in the development of systems;

- giving as much importance to design and development methods as to performance (knowledge base capacity, response time);
- communications problems between expert systems and existing information systems.[16]

These tools and the purpose they would accomplish are described in Table III.

TABLE III
DEVELOPMENT TOOLS AND PURPOSE THEY WOULD ACCOMPLISH

DEVELOPMENT TOOLS	
Preliminary study	Give opinion on: - feasibility of system - overall planning - cost - time frame, etc.
Knowledge acquisition support	Structure knowledge. Tools such as KSS (Knowledge Support System) will be studied in the near future.
Knowledge representation support	Choose the best method for representing knowledge and the best inference engine for the problem posed.
Support for construction and management of knowledge base	- analyse knowledge bases - enter, document and edit knowledge (rules, frames, etc.).
Test and validation	Develop a series of tests to validate prototype and final version
Support for management of expert system development	Plan and monitor development of expert systems.

CONCLUSION

Artificial intelligence today offers new tools for improving organizational productivity: expert systems. Designed to deal with specific problems, they use resources as yet not fully exploited: the knowledge and expertise of the experts in the organization.

Use of an expert system makes it possible to preserve, organize and make accessible the invaluable expertise that is the hallmark of organizations. Increased production and more successful goal fulfilment are only two of the many advantages your organization may derive from the use of an expert system.

Much research is still needed to render expert system technology more accessible to organizations, both business and private. Projects underway at the Canadian Workplace Automation Research Centre contribute to this important undertaking.

(16) Alain Bonnet. Expert systems: Towards technical control.

APPENDIX I
SOME APPLICATIONS OF KNOWLEDGE-BASED SYSTEMS

1. DESIGN SYSTEMS

Applied to design of printed circuits, building design, budget preparation, etc.

2. PLANNING SYSTEMS

Used for project planning, resource distribution, communications, military engineering, etc.

3. MAINTENANCE SYSTEMS

Applied to domains such as automobiles, aviation, communications networks, computer maintenance.

4. MONITORING SYSTEMS

Used for monitoring nuclear power plants, air traffic, hospital patients, financial management, etc.

5. INTELLIGENT TUTORING SYSTEMS

Can instruct, diagnose student problems and provide feedback.

6. INTERPRETATION SYSTEMS

Used for supervision, understanding discourse, analysing images, interpreting signals.

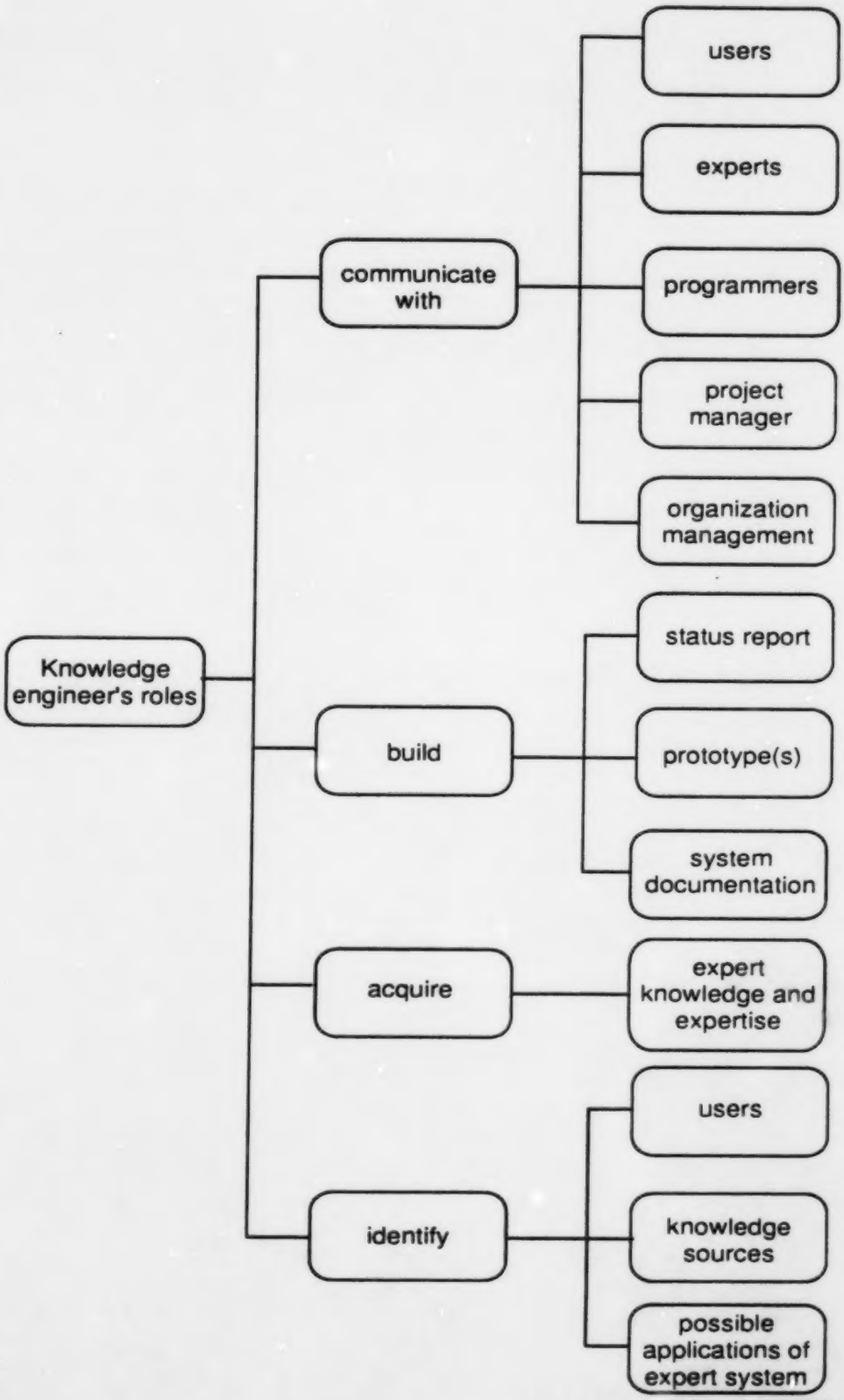
7. FORECASTING SYSTEMS

Used for weather and demographic forecasting, forecasting traffic on networks, estimating agricultural production, military forecasting, etc.

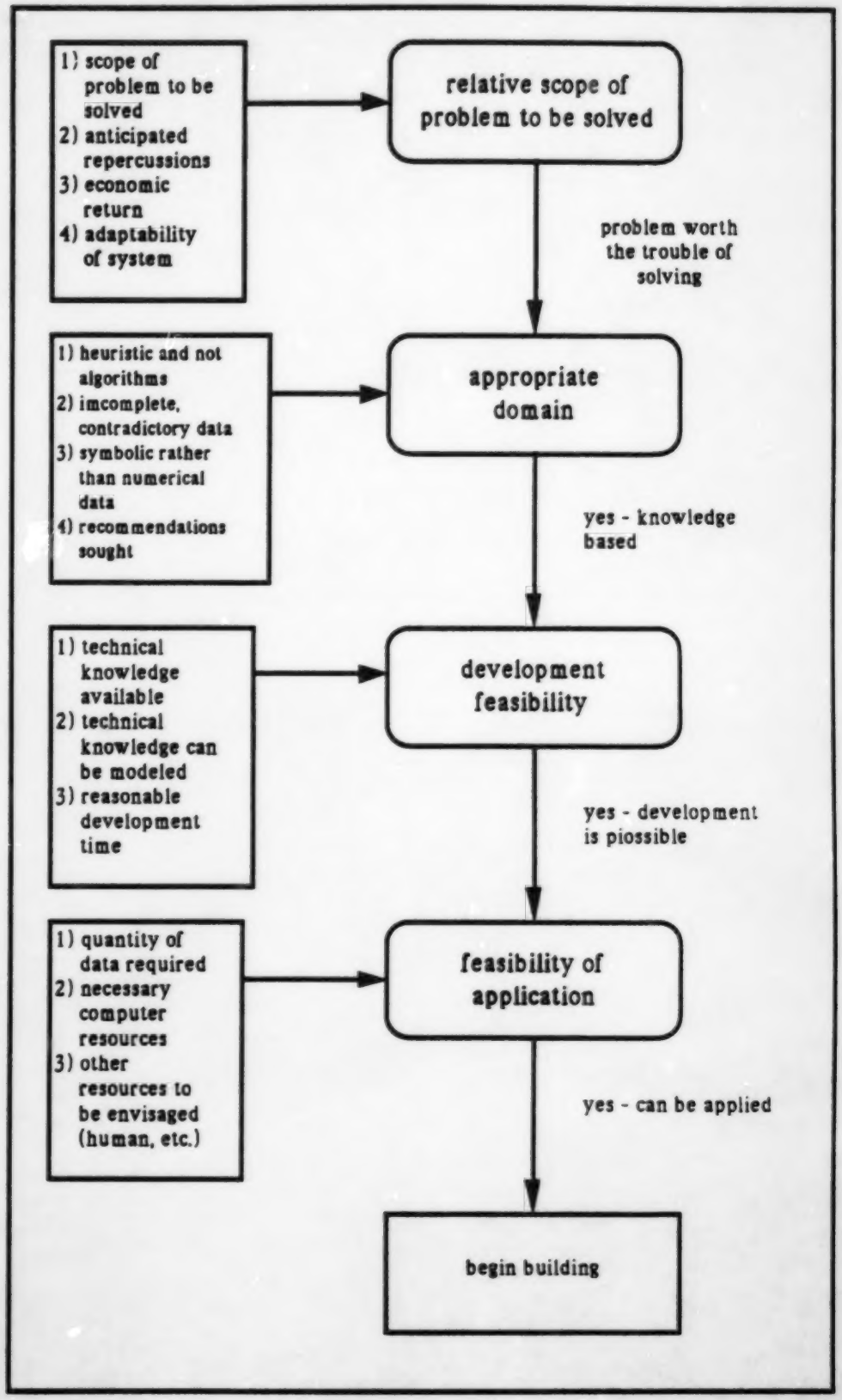
8. MANAGEMENT SUPPORT SYSTEMS

These systems help the user with tasks normally encountered in an office.

APPENDIX II
KNOWLEDGE ENGINEER'S ROLES

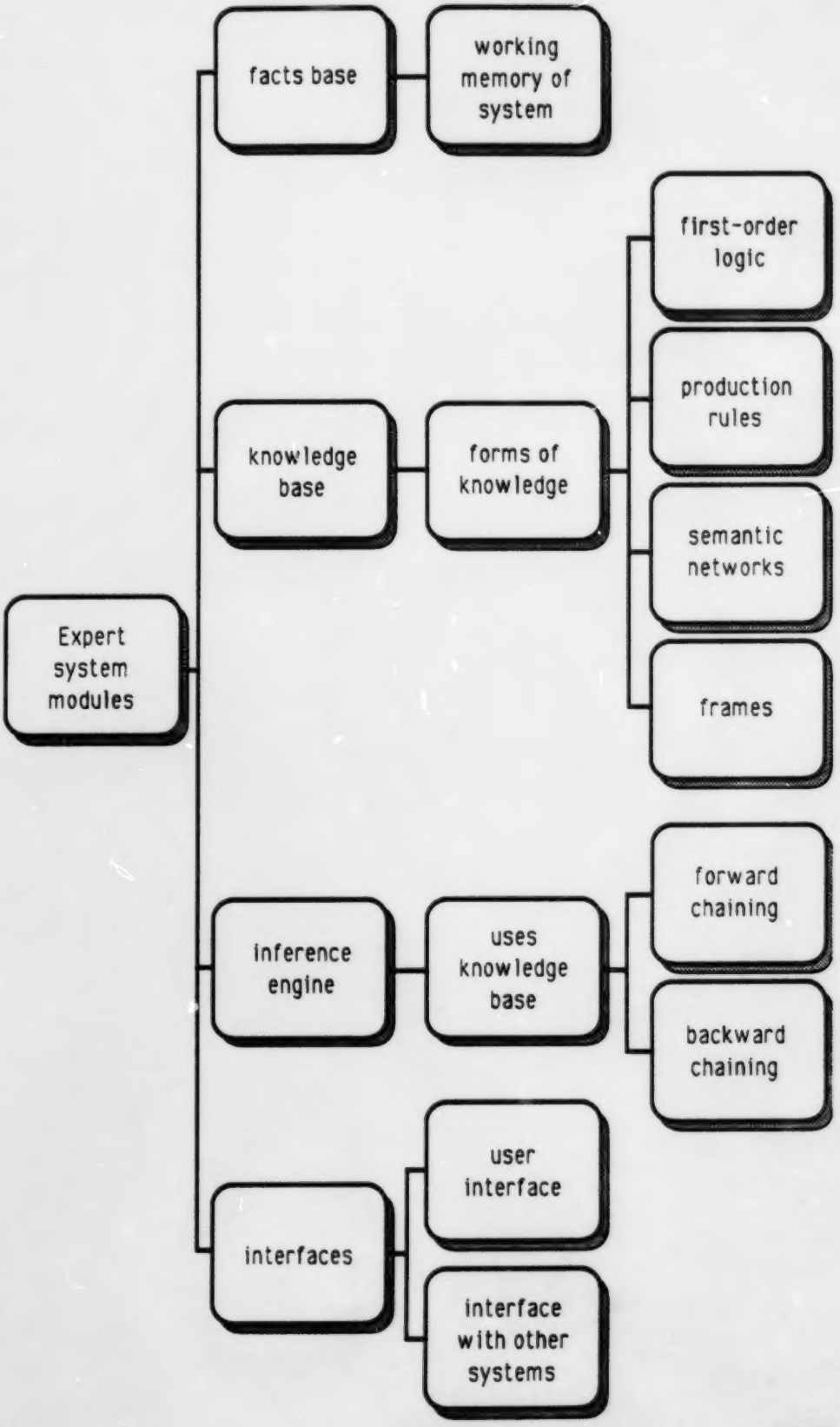


APPENDIX III
WHEN TO USE EXPERT SYSTEM TECHNOLOGY[17]



(17) Adapted from Louis R. Gieszl. The Expert system Applicability Question.

APPENDIX IV
ARCHITECTURE OF EXPERT SYSTEMS - SUMMARY



APPENDIX V
EXPERT SYSTEM EVALUATION CRITERIA [18]

TECHNICAL ASPECTS

- program easy to modify if initial situation changes or if improvements are desiared;

- program can be adapted to a number of systems (e.g. PC and compatibles);

- program is reliable.

KNOWLEDGE BASE

- it is valid (program arrives at same conclusions as expert);

- it is complete (handles all cases in the chosen domain);

- it follows a strict logical system;

- it gives the user any necessary assistance at all times and provides guidance (e.g. explanations, notes);

- it offers the user useful results (reports or tables rather than simply lists);

- it uses clear, unambiguous language; level of detail is appropriate (neither too much nor too little).

HUMAN FACTORS

- program adapts to users rather than the contrary (level of knowledge, e.g. one for the expert and one for the novice);

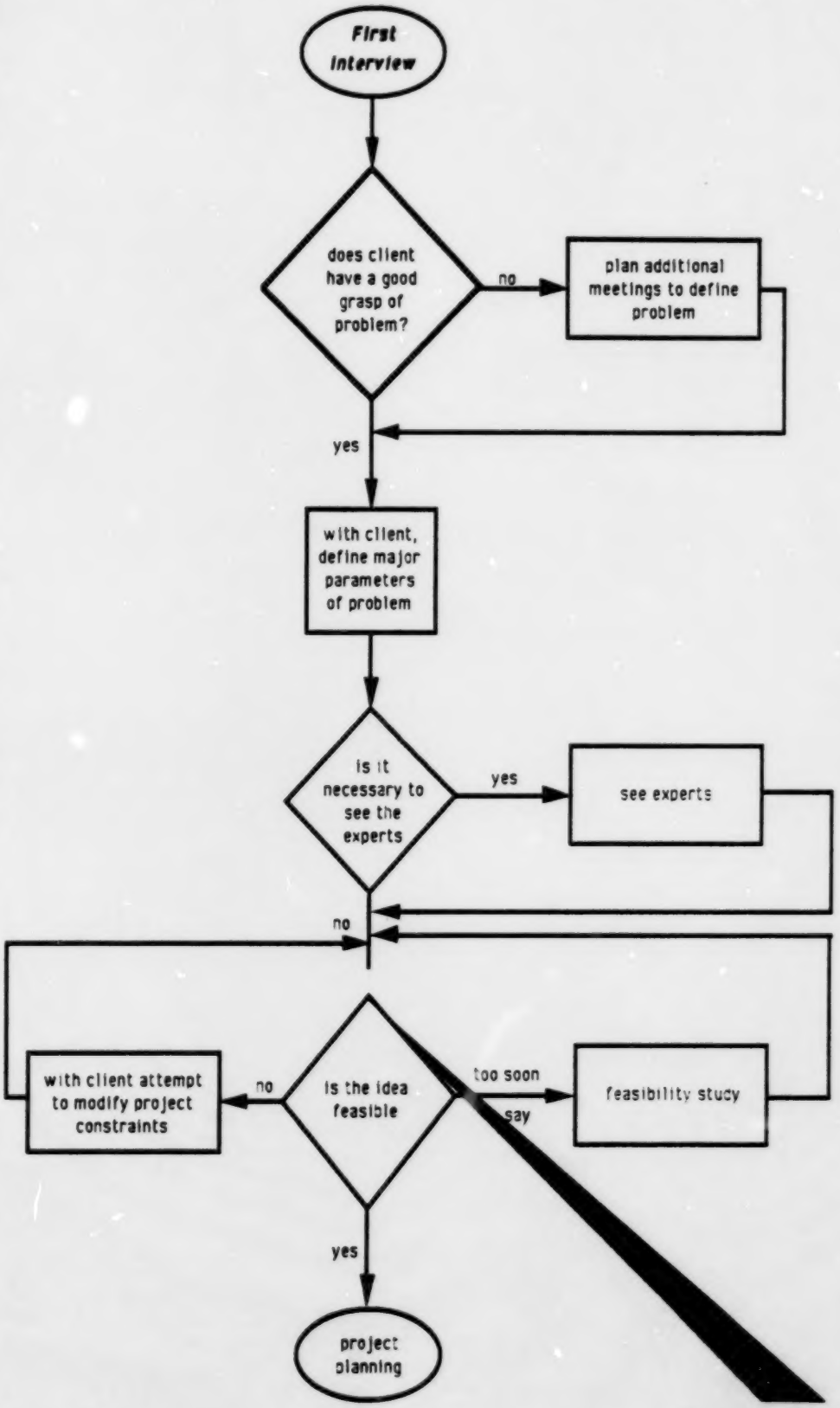
- program provides benefits for users:

ogram helps users in their work;

- cost-benefit analysis favourable.

(18) Adapted from Kimiz Dalkir. A Systems Approach to the Evaluation of Expert Systems. A more complete list of assessment criteria is included in the document.

APPENDIX VI
SUMMARY TABLE
- NEGOTIATION -



REFERENCES

Bonnet, Alain et al. Systèmes experts: vers la maîtrise technique. Paris, InterEditions (coll. IIA informatique intelligence artificielle), 1986.

Dalkir, Kimiz. A Systems Approach to the Evaluation of Expert Systems. CCRIT, 1988.

Gieszl, Louis R. "The Expert System Applicability Question» in : Proceedings, *Conference on AI and Simulation*, San Diego, L.A., january 1987.

Hayes-Roth, Frederick,Lenat, Douglas B. and Donald A. Waterman. Building Expert Systems, Addisson-Wesley Publishing Company Inc., 1983.

Grand dictionnaire encyclopédique Larousse, 1980.

Hunt,V.Daniel. Artificial Intelligence and Expert Systems Sourcebook, New York, Chapman and Hall, 1986 (Coll. Chapman and Hall Advanced Industrial Technology Series).

Luconi, Fred L., Malone, Thomas W. and Michael S. Scott Morton. Expert Systems and Expert Support Systems : The New Challenge for Management, MIT, Sloan School of Management, 1984 (Coll. Management in the 1990's).

Morvan, Pierre (sous la direction de). Dictionnaire de l'informatique, 6e édition revue et mise à jour, Paris, Librairie Larousse (coll. Références Larousse), 1986.

Moulin, Bernard et Marie-Michèle Boulet. «De la gestion des données à la gestion des connaissances dans l'organisation» dans : Transformation-Information-Technology Evolving for the Future, Proceedings, Canadian Information Processing Society, 1986, p. 277-282.

Pavel, Sylvia. Vocabulaire de l'intelligence artificielle, Ottawa, Secrétariat d'Etat du Canada, Direction générale de la terminologie et des services linguistiques.

Petit Robert, 1977.

Polya, G. How to solve it, New York, Doubleday.

THEMATIC BIBLIOGRAPHY

Bibliographiy

Carande, Robert."Checking out AI sources" in : AI expert, 3 (6), june 1988, p.60-65.

Dictionaries an bilingual glossaries

AFNOR. Vocabulaire international de l'informatique : traitement de l'information. Paris: AFNOR, 1986.

CANADA. Glossary: Electronic Data Processing. Ottawa: Supply and Services Canada, c1985.

CANADA. Information Technology Vocabulary. Ottawa: Supply and Services Canada, 1984.

Ginguay, Michel et Annette Lauret. Dictionnaire d'informatique français-anglais. Paris: Masson, c1981.

OFFICE DE LA LANGUE FRANÇAISE. Terminologie de l'informatique : états terminologiques et bibliographies. Québec: Gouvernment of Quebec. c1983.

Artificial Intelligence: general works

Andriole, Stephen. Applications in artificial intelligence. Princeton, Petrocelli Books, c1985.

Firdman, Henry Eric. Putting artificial intelligence to work. Fallbrook, Henry Firdman and associates, c1988, 2 vol.

Generesereth, Michael R. et Nils J. Nilsson. Logical foundations of artificial intelligence. Los Altos, Morgan Kaufmann, c1987.

Johnson, George. Machinery of the mind : inside the new science of artificial intelligence. New York, Times Books, c1986.

Michie, Donald. On machine intelligence. Chichester, Toronto : Ellis Horwood, John Wiley and Sons (Ellis Horwood Series in Artificial Intelligence), c1987.

Mishkoff, Henry C. Understanding artificial intelligence. Indianapolis, Howard W. Sams and Co. (Sams Understanding Series), c1985.

Saridis, George N. «Artificial intelligence vs machine intelligence : facts and fiction» dans : The Second Conference on Artificial Intelligence Applications in the engineering of Knowledge-based Systems. Washington, D.C., IEEE, Computer Society Press, 1985, p. 144-145.

Scown, Susan J. The artificial intelligence experience : an introduction. Maynard, Digital Equipment Corporation, c1985.

THEMATIC BIBLIOGRAPHY

Artificial intelligence: economic aspects

Busch, Earlene Kingery. «Artificial intelligence : why on again, off again?» Teitell, Murray ed., dans : Proceedings of the Third Annual Artificial Intelligence and Advanced Computer Technology Conference, Wheaton, Tower Conference Management, 1987, p. 455-458.

Toda, Iwao. «On the future of AI» dans : ICOT journal, sept. 1987, p. 3-13.

Artificial intelligence: legal aspects

Frank, Steven J. «What AI practitioners should know about the law», AI magazine, 9 (2), summer 1988, p. 109-114.

Ethics/philosophy and artificial intelligence

McCarthy, John. «Epistemological problems of artificial intelligence» dans : Readings in Knowledge Representation, Los Altos, Morgan Kaufmann, c1985, p. 23-30.

McCarthy, John et P.J. Hayes, «Some philosophical problems form the standpoint of artificial intelligence» dans : Readings in Artificial Intelligence, Los Altos, Morgan Kaufmann, c1981, p. 431-450.

Gouvernement du Canada
Ministère des Communications

Government of Canada
Department of Communications

Le Centre canadien de recherche sur l'informatisation du travail
Canadian Workplace Automation Research Centre

Canada

Ministère des Communications du Canada
Centre canadien de recherche sur l'informatisation du travail

Le Groupe systèmes experts

Éléments de fabrication des systèmes experts

Décembre 1989

Joël Muzard
Kim Dalkir
Patrick Aboussouan
Ron Ferguson
Christine Gariépy
Lyne Champagne

No de cat. Co 28-1/44-1989F
ISBN 0-662-95815-2

Les opinions émises dans ce document n'engagent que les auteurs.

• This document is also available in English

Table des matières

INTRODUCTION 4

1. Notions préliminaires
- a) L'informatique cognitive des organisations 4
- b) L'intelligence artificielle et la science cognitive
  - les bases théoriques 5
- c) Les systèmes à base de connaissances et les systèmes experts 6

2. Participants à la réalisation d'un projet
- 2.1 Le cogniticien 6
- 2.2 L'usager 6
- 2.3 L'expert 6
- 2.4 Le chef de projet 6

3. Architecture des systèmes experts
- 3.1 La base de faits 6
- 3.2 La base de connaissances
  - Logique de premier ordre 7
  - Règles de production 7
  - Réseaux sémantiques 7
  - Cadres sémantiques 7
- 3.3 Le moteur d'inférences 8
- 3.4 Les interfaces. 8

4. Étapes de fabrication des systèmes experts 9

5. Outils de production des systèmes experts
- 5.1 Les outils disponibles 10
- 5.2 Les outils souhaitables 10

CONCLUSION 11

ANNEXES

Annexe I - Quelques applications des systèmes à base de connaissances 12

Annexe II - Rôles du cogniticien 13

Annexe III - Quand utiliser la technologie des systèmes experts 14

Annexe IV - Architecture des systèmes experts -synthèse 15

Annexe V - Critères d'évaluation des systèmes experts 16

Annexe VI - Tableau-synthèse : Négociation 17

RÉFÉRENCES 18

BIBLIOGRAPHIE THÉMATIQUE 19

Note : l'utilisation du masculin n'est aucunement discriminatoire et vise seulement à alléger le texte.

Tableaux et figures

Liste des tableaux

Tableau I Caractéristiques des programmes d'intelligence artificielle.....5

Tableau II Étapes de fabrication des systèmes experts : description. 10

Tableau III Outils de production et buts poursuivis 11

Liste des figures

Figure 1 Exemple de réseau sémentique 7

Figure 2 Exemple de cadre sémentique 7

Figure 3 Raisonnements selon les deux méthodes d'inférence 8

Figure 4 Méthodes de Hayes-Roth. 9

INTRODUCTION

Le désir bien légitime des entreprises d'être plus productives et plus concurrentielles s'est concrétisé, il y a quelques années, par le développement de l'informatique. En effet, systèmes de gestion, bases de données et traitement de textes constituent tous des outils créés pour apporter un soutien aux organisations dans l'exercice quotidien de leurs tâches.

Aujourd'hui, de nouveaux outils, encore plus performants, sont offerts aux organisations : les systèmes à base de connaissances et, plus particulièrement, les systèmes experts.

Dédiés à la gestion du savoir-faire d'une organisation dans un domaine particulier, les systèmes experts offrent de nombreux avantages :

- organiser et conserver les connaissances des experts de l'organisation;
- permettre à des travailleurs moins expérimentés d'accéder aux connaissances des autres;
- éviter la perte de savoir-faire occasionnée par le départ d'experts;
- supporter et améliorer la prise de décisions des experts et des gestionnaires.

Plusieurs années de recherche et d'innombrables efforts ont permis de développer des systèmes d'intelligence artificielle. Il est important de maintenir cet effort qui ouvre des horizons nouveaux pour les organisations.

Le document que nous vous présentons, *Eléments de fabrication des systèmes experts*, passe en revue les bases théoriques des systèmes experts et leur architecture. De plus, il décrit les étapes de fabrication et les outils - logiciels et matériel informatique - utilisés pour de tels systèmes et, enfin, le rôle des participants à ce processus.

Bref, ce document se veut un premier pas vers la compréhension des systèmes experts et des possibilités qu'ils offrent à votre organisation.

1. Notions préliminaires

a) L'informatique cognitive des organisations

Au cours des années 1970, les organisations ont pris conscience que les *données* constituent une ressource qu'elles doivent gérer au même titre que les ressources humaines et matérielles.

Aujourd'hui, «après avoir acquis la maîtrise de leurs données, les organisations font face à une nouvelle [...] nécessité : maîtriser le savoir qui est mis en oeuvre au sein de l'organisation. Divers faits montrent que ce besoin, plus ou moins passé inaperçu jusqu'à présent, prend une importance de plus en plus grande. La sophistication des technologies mises en oeuvre dans tous les secteurs d'activité des organisations entraine une croissance de la durée de formation des employés, de même que de leur degré de spécialisation. Ainsi, le temps de formation d'une main-d'oeuvre qualifiée, et le haut niveau de spécialisation rend difficile son adaptation à d'autres domaines d'activités (c'est nous qui soulignons)»[1].

En fait, il s'agit de passer à une nouvelle approche de l'informatique des organisations : l'informatique cognitive des organisations; soit la mise au point de systèmes qui, en traitant les connaissances d'un domaine permet de résoudre des problèmes complexes. Cette nouvelle discipline bénéficie des apports de l'intelligence artificielle et de la science cognitive.

(1) Bernard Moulin et Marie-Michèle Boulet. De la gestion des données à la gestion des connaissances dans l'organisation, p.277.

b) L'intelligence artificielle et la science cognitive - les bases théoriques

L'intelligence artificielle est un «ensemble de théories et de techniques mises en oeuvre par un programme sur ordinateur afin de résoudre des problèmes sans que l'algorithme [enchaînement des actions nécéssaires à l'accomplissement d'une tâche] précis de résolution soit explicitement fourni»[2].

En effet, contrairement aux programmes classiques, où l'ordinateur a besoin de *toutes* les données nécessaires et d'un enchaînement précis d'étapes de résolution pour fonctionner, les programmes d'intelligence artificielle s'accomodent bien de données partielles et imprécises. Le tableau I donne un bref aperçu de leurs caractéristiques.

Quant à la science cognitive, elle tire ses sources des plus récentes découvertes de la psychologie, de l'informatique, de la linguistique, de la philosophie, des neuro-sciences et de beaucoup d'autres domaines. Bien que cette nouvelle discipline soit très liée à l'intelligence artificielle, elle en diffère quelque peu : alors que l'intelligence artificielle crée des systèmes en tenant compte des contraintes que posent les machines actuellement disponibles (ou celles à venir), la science cognitive utilise plutôt l'*architecture* de l'intelligence humaine comme modèle[3].

TABLEAU I
CARACTÉRISTIQUES DES PROGRAMMES D'INTELLIGENCE ARTIFICIELLE

CARACTÉRISTIQUES	*DÉFINITIONS*	*REMARQUES*
1. Démarche heuristique	Méthode de résolution de problèmes à plusieurs variables dans laquelle on progresse par «approximations successives» vers la solution. S'oppose à la méthode algorithmique.	Voir à ce sujet : «Heuristique» dans : Michel Gingray et Annette Lauret. Dictionnaire d'informatique, p. 102.
2. Représentation des connaissances	Correspondance entre le monde extérieur et un système symbolique permettant de raisonner.	
3. Raisonnement possible avec des données incomplètes		Exemple : les systèmes à base de connaissances et les systèmes experts (voir chapitre 1c)
4. Capacité d'apprentissage		A partir des nouvelles données qu'on y insère, le système peut, grâce à ses mécanismes de raisonnement, ajouter de nouvelles conclusions qui augmenteront son «intelligence».

(2) «Intelligence artificielle» dans : Grand dictionnaire encyclopédique Larousse, vol. 6, p. 5624.

(3) Voir à ce sujet : «Cognitive science» dans : Stuart C. Shapiro, David Eckroth et George A. Vallasi, Encyclopedia of artificial intelligence, vol.1, p. 120-121.

c) Les systèmes à base de connaissances et les systèmes experts

Les systèmes à base de connaissances sont des programmes d'intelligence artificielle qui utilisent des connaissances spécialisées pour résoudre des problèmes. Un système expert en est un type particulier : il utilise les connaissances et le savoir-faire d'un expert dans un domaine précis[4].

En effet, un système expert est un programme possédant une grande masse de connaissances dans un domaine spécialisé (ces connaissances proviennent généralement d'un expert humain chevronné); il est capable d'atteindre les performances de l'expert dans ce domaine[5]. L'usager consulte le système expert *comme il consulterait un expert humain* : définition du problème, réalisation des tests suggérés, demande d'explications sur les solutions proposées, etc.

2. Participants à la réalisation d'un projet

2.1 Le cogniticien

Le cogniticien[6] acquiert les connaissances et le savoir-faire de l'expert pour ensuite les traduire dans un langage accessible à l'ordinateur. Il connait bien le matériel informatique et les logiciels. Il sera donc en mesure de conseiller le meilleur choix possible à l'organisation.

2.2 L'usager

L'usager est la «raison d'être» du projet, puisqu'il se servira du système pour son travail. Dans cette optique, le système expert *devra s'adapter aux besoins de l'usager et non l'inverse*; dans ce sens, le cogniticien doit vérifier si :

- le système répond aux besoins de l'usager;
- l'usager le considère utile à son travail;
- l'usager a été consulté et si ses suggestions ont été intégrées au système.

2.3 L'expert

L'expert possède les connaissances et le savoir-faire nécessaires pour résoudre des problèmes. On entre ses connaissances dans un programme qui simulera ensuite le processus employé par l'expert.

2.4 Le chef de projet

Le chef de projet négocie le projet, le gère et dirige l'équipe de production (cogniticien, expert, usager). Avant de démarrer tout projet, il discute avec eux de la pertinence d'une telle technologie[7]. Enfin, durant la période de négociation, il établie le lien entre les besoins exprimés par les parties et les ressources disponibles.

3. Architecture des systèmes experts

Puisque le savoir-faire humain fait appel à l'intuition et à des «règles de bon sens» (et non aux seules opérations logiques), on représente séparément les connaissances propres à un domaine et les mécanismes d'interprétation. Si une situation se modifie, il est beaucoup plus aisé de modifier le système. Les systèmes experts sont composés généralement des modules suivants[8]:

3.1 La base de faits

Elle inclut les faits du domaine et les faits propres au problème à résoudre (données). Dans un domaine tel que la comptabilité, les

(4) Voir à ce sujet : «Knowledge-based system» dans : V. Daniel Hunt, Artificial Intelligence and Expert Systems Sourcebook, p. 147-148. Pour les diverses applications des systèmes à base de connaissances, voir l'Annexe I.

(5) Alain Bonnet. Systèmes experts; vers la maîtrise technique, p. 44.

(6) Cogniticien : personne qui acquiert les connaissances des experts, les organisent et les transfèrent dans un programme d'ordinateur. Elle peut être de formation variée : informaticien, psychologue, etc. Pour plus d'information sur son rôle dans le processus de fabrication, consulter l'Annexe II.

(7) Voir à ce sujet l'Annexe III Quand utiliser la technologie des systèmes experts?, où l'on présente l'enchaînement des questions à se poser, tel que le ferait un système expert.

(8) Pour une synthèse, voir l'Annexe IV.

faits seront : dépenses courantes, actif, passif, etc. La base de faits est donc la *mémoire de travail* d'un système expert.

3.2 La base de connaissances

Elle est composée de connaissances organisées sous diverses formes[9]. En voici quelques-unes :

- Logique de premier ordre

On entre dans cette catégorie des raisonnements simples tels que les syllogismes[10].

Par exemple, le très connu :

«Si tous les hommes sont mortels»; (proposition 1)
«Si Socrate est un homme»; (proposition 2)
«**Donc** Socrate est mortel». (proposition 3)

- Règles de production

Ce sont des règles de «si-alors». Un système de diagnostic médical pourrait contenir la règle suivante :

SI le patient est fiévreux **ET SI** de plus, son nez coule, **ALORS**, il est très probable que le patient ait le rhume.

- Réseaux sémantiques[11]

Il est souvent pratique de représenter les connaissances sous forme de réseaux sémantiques. Un réseau sémantique est une forme d'organisation de la connaissance où les concepts sont hiérarchisés entre eux par des liens. La figure 1 en donne un exemple.

- Cadres sémantiques[12]

Dans plusieurs cas, il est très utile de rassembler plusieurs connaissances dans une unité globale d'information : le cadre sémantique. Dans le système précédent, chaque information d'une composante électrique sera considéré comme un tiroir dans le cadre sémantique «composante électrique».
La figure 2 en donne un exemple.

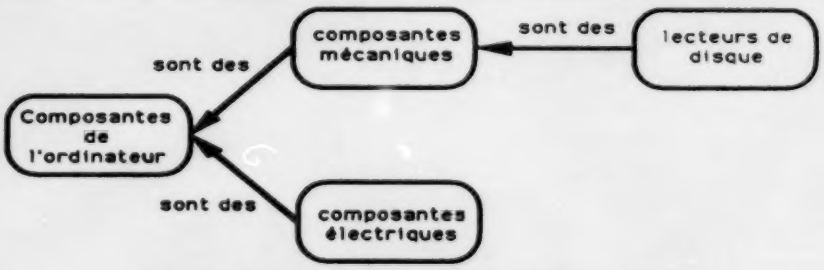


FIGURE 1 EXEMPLE DE RÉSEAU SÉMANTIQUE

Composante électrique	
Numéro de la pièce	
Longueur	
Largeur	
Hauteur	
Tension	

FIGURE 2 EXEMPLE DE CADRE SÉMANTIQUE

(9) Les exemples utilisés pour illustrer notre propos sont tirés en majeure partie de : Fred L. Luconi et al. Expert Systems and Expert Support Systems : The Next Challenge for Management.
(10) Syllogisme : «raisonnement qui contient trois propositions (la majeure [dans l'exemple, la première proposition], la mineure [deuxième proposition], la conclusion [troisième proposition]) et tel que la conclusion est *déduite de la majeure par l'intermédiaire de la mineure*» (Petit Larousse en couleurs, 1980, p.892). Tel n'est pas le cas pour la forme suivante, les règles de production, où l'ordre des propositions n'influence pas nécessairement la conclusion.
(11) En anglais : *semantic networks*.
(12) En anglais : *frames*.

Cette forme d'organisation des connaissances évite l'entrée de données superflues. Si la valeur implicite de la tension de la composante X est de 110 V, le système déduira automatiquement, à moins d'avis contraire, que toute nouvelle composante fonctionne à une tension similaire. De plus, si l'une des variables (longueur, largeur, etc.) changeait, il adapterait toutes les autres pour maintenir l'équilibre.

3.3 Le moteur d'inférences [13]

Il exploite la base de connaissances pour tirer des conclusions sur le problème. Il contient les méthodes d'inférence pour résoudre les problèmes qui lui sont soumis : le chainage avant et le chainage arrière. La méthode utilisée est choisie en fonction de la nature du problème et des formes de connaissances utilisées[14]. La figure 3 donne un exemple de chaque méthode. La situation est la suivante : un investisseur veut réduire ses impôts. Il possède 100 000 $ et il est prêt à prendre des risques. Il demande au système de lui indiquer le meilleur investissement (A ou B).

3.4 Les interfaces

Une interface est définie comme «l'ensemble des règles et des conventions à respecter pour que [deux modules d'un système ou] deux systèmes donnés puissent échanger des informations»[15]. Dans une interface, on précise la nature et la forme des données et des commandes à échanger.

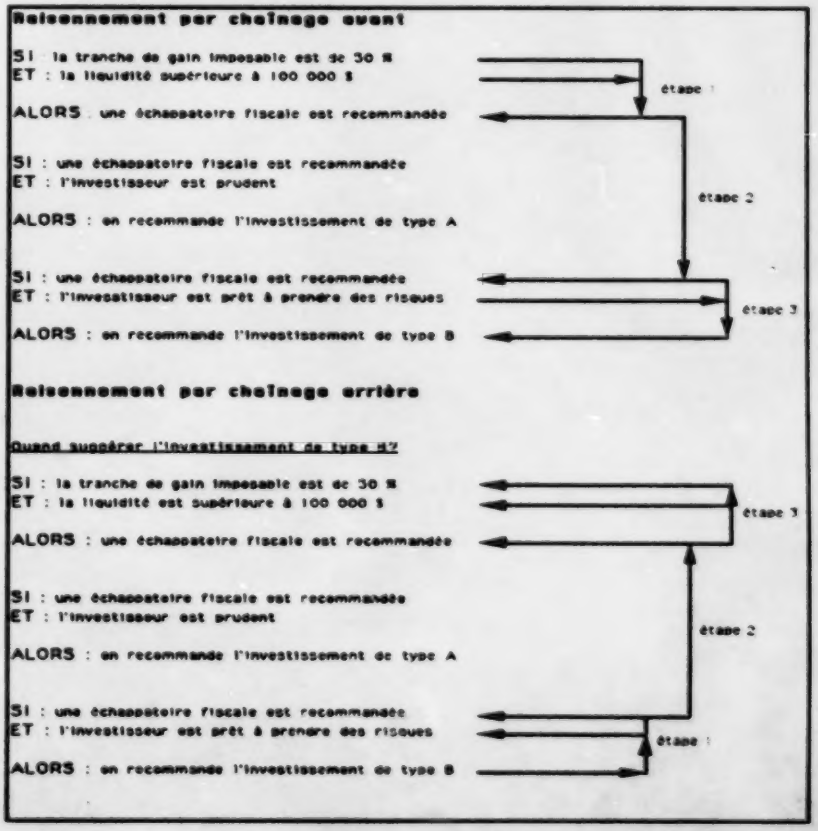


Figure 3 RAISONNEMENTS SELON LES DEUX MÉTHODES D'INFÉRENCE

(13) En anglais : *inference engine*.
Inférence : opération logique par laquelle on admet une proposition en vertu de sa liaison avec d'autres propositions déjà tenues pour vraies (Petit Robert, 1977, p.998).
Règles d'inférence : «celles qui permettent, dans une théorie déductive, de conclure à la vérité d'une proposition à partir d'une ou de plusieurs propositions, prises comme hypothèses» (Petit Larousse en couleurs, 1980, p. 486).
(14) Revoir le chapitre 3.2.
(15) «Interface» dans : Pierre Morvan . Dictionnaire de l'informatique, p. 162.

Comme nous l'avons mentionné, il existe deux types d'interface : l'interface avec les autres systèmes (experts ou non) et l'interface de l'usager. Cette dernière doit permettre d'entrer aisément les données. Dans la majorité des cas, cela consiste à répondre à des questions posées par le système. Dans ce domaine, on tend de plus en plus à la convivialité, c'est-à-dire à une facilité d'accès et d'emploi du système informatique.

4. Étapes de fabrication des systèmes experts

Plusieurs méthodes de fabrication sont proposées par les chercheurs. L'une de ces méthodes, celle de Hayes-Roth[16], est illustrée par la figure 4.

La méthode utilisée par le Groupe systèmes experts s'adapte aux partenaires du projet et tient compte de leurs contraintes et de leurs objectifs. C'est pourquoi on ajoute des étapes de négociation et d'acceptation. Chaque étape est abordée par la méthode de résolution de problèmes[17].

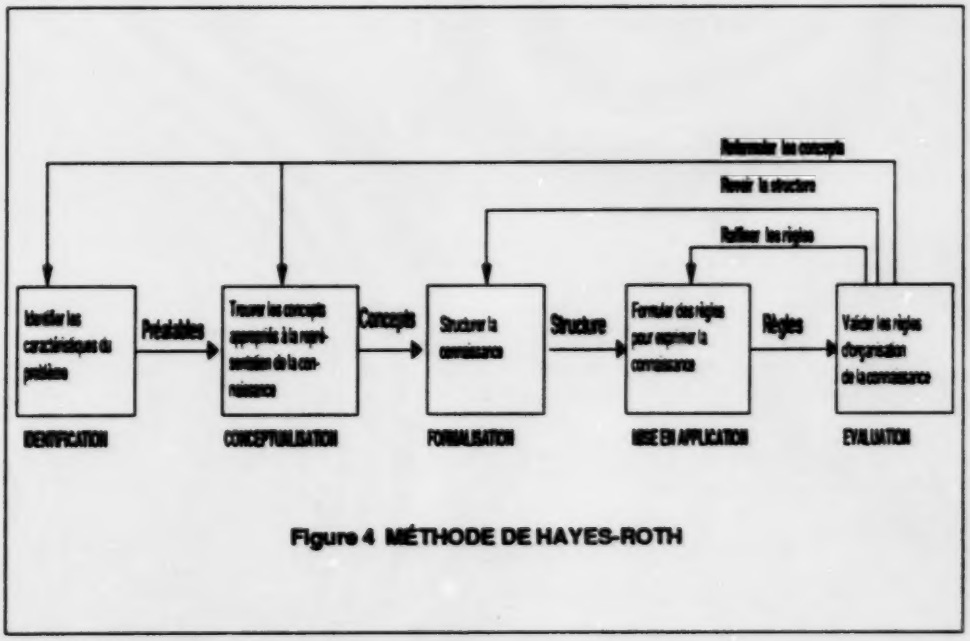


Figure 4 MÉTHODE DE HAYES-ROTH

(16) Frederick Hayes-Roth et al. Building expert systems, p. 139.

(17) Cette méthode, mise au point par Georges Polya dans son livre How to solve it, se résume globalement ainsi :

Résolution d'un problème :

1- comprendre le problème;

2- préparer un plan;

3- mener le plan à terme;

4- évaluer la solution.

TABLEAU II
ÉTAPES DE FABRICATION DES SYSTÈMES EXPERTS : DESCRIPTION

ÉTAPES	OBJECTIFS	ACTIONS	RÉSULTATS
Négociation	- s'entendre avec les partenaires - repérer le ou les problèmes que l'organisation veut résoudre - noter ses besoins - identifier les ressources humaines, matérielles et financières	- rencontrer les partenaires pour identifier le ou les problèmes à résoudre - analyser le contexte de production - voir l'Annexe VI pour une synthèse ou consulter *La négociation des projets de systèmes experts*	- accord entre les parties - document de planification - définition de la contribution des parties
Définition	- identification des caractéristiques des usagers potentiels - cerner le domaine et les experts	- rencontre avec les usagers potentiels du système et les experts - identifier les tâches et les contraintes - définir les critères de performance	- description du domaine - identification des usagers, de leurs besoins et des catactéristiques du système
Conception	- définir l'architecture du prototype	- trouver les concepts pour représenter les connaissances et le savoir-faire des experts - identifier les méthodes d'inférence - définir les modules du système - choisir le logiciel	- définition conceptuelle du prototype
Développement	- développer le prototype 1. acquisition des connaissances et du savoir-faire 2. représentation des connaissances 3. validation du système	- rencontre avec les experts - mise en place des outils logiciels pour favoriser l'acquisition des connaissances - transfert et représentation dans la base de connaissances du système	PROTOTYPE EXPÉRIMENTAL
Acceptation	- évaluer la performance du système et valider son comportement	- voir Annexe V	- prototype à réviser selon les résultats observés, étapes précédentes à recommencer au besoin - rapport final

Le tableau II décrit les objectifs, les actions et les résultats de chaque étape.

5. Outils de production des systèmes experts

5.1 Les outils disponibles

Pour mettre au point un système expert, les cogniticiens utilisent, soit les langages de programmation conventionnels, soit les coquilles[18], logiciels spécialisés qui fournissent les mécanismes de raisonnement. Le choix du type d'outil tient à la nature du problème ou de la situation à améliorer. Ce point sera donc à discuter avec le cogniticien.

5.2 Les outils souhaitables

D'autres outils pourraient faciliter le travail de recherche et de développement. Ces outils tiendraient compte :

- de toutes les phases du cycle de vie d'un système expert;
- des facteurs de productivité, de qualité et de fiabilité dans le développement des systèmes (il faut privilégier autant les méthodes [de

(18) En anglais : *shells, expert systems shells.*

conception et de développement] que les performances [capacité des bases de connaissances, temps de réponse]);
- des problèmes de communication entre systèmes experts et systèmes d'information déjà existants[19].

Ces outils et les buts poursuivis sont décrits au tableau III.

TABLEAU III
OUTILS DE PRODUCTION ET BUTS POURSUIVIS

OUTILS DE PRODUCTION	
Études préalables	Se prononcer sur : - la faisabilité du système; - la planification générale; - les coûts; - les délais, etc.
Support à l'acquisition des connaissances	Structurer les connaissances. Des outils tels que KSS (Knowledge Support System) seront étudiés prochainement.
Support à la représentation des connaissances	Choisir le meilleur mode de représentation des connaissances et le meilleur moteur d'inférences selon le problème posé.
Support à la construction et à la gestion des bases de connaissances	- analyser les bases de connaissances; - saisir, documenter et éditer les connaissances (règles, cadres sémantiques, etc.).
Test et validation	Constituer des jeux d'essais pour valider le prototype et le produit final.
Support à la gestion de la production des systèmes experts	Planifier et contrôler le développement des systèmes experts.

CONCLUSION

L'intelligence artificielle offre aujourd'hui de nouveaux outils pour améliorer la productivité des organisations : les *systèmes experts*. Conçus pour répondre à des problèmes spécifiques, ils mettent à profit des ressources encore mal exploitées : les connaissances et le savoir-faire des experts d'une organisation.

L'utilisation d'un système expert permet de conserver et d'organiser ce savoir-faire essentiel et si précieux à l'organisation, afin de le rendre plus accessible. Un rendement accru et une meilleure atteinte des objectifs sont deux des nombreux avantages que peut procurer l'utilisation d'un système expert par votre organisation.

Il est nécessaire d'entreprendre de nombreuses recherches pour que la technologie des systèmes experts soit de plus en plus *accessible* aux entreprises et autres organismes. Les projets réalisés au Centre canadien de recherche sur l'informatisation du travail contribuent à cet effort important.

(19) Alain Bonnet. Systèmes experts: vers la maîtrise technique.

ANNEXE I

Quelques applications des systèmes à base de connaissances

1. Les systèmes de conception

Sont appliqués à la conception de circuits imprimés, à la conception de bâtiments, à la préparation de budgets, etc.

2. Les systèmes de planification

Sont utilisés pour la planification de projets, l'acheminement de ressources, les communications, le génie militaire, etc.

3. Les systèmes de réparation

Sont appliqués aux domaines de l'automobile, de l'aviation, des réseaux de communication, de l'entretien d'ordinateurs, etc.

4. Les systèmes de surveillance

Sont appliqués dans les centrales nucléaires, au traffic aérien, au suivi des malades, à la gestion financière, etc.

5. Les systèmes d'enseignement intelligent

Sont capables d'instruire, de diagnostiquer les problèmes de l'étudiant et de lui donner une rétroaction.

6. Les systèmes d'interprétation

Sont utilisés pour la surveillance, la compréhension du discours, l'analyse d'images, l'interprétation des signaux, etc.

7. Les systèmes de prédiction

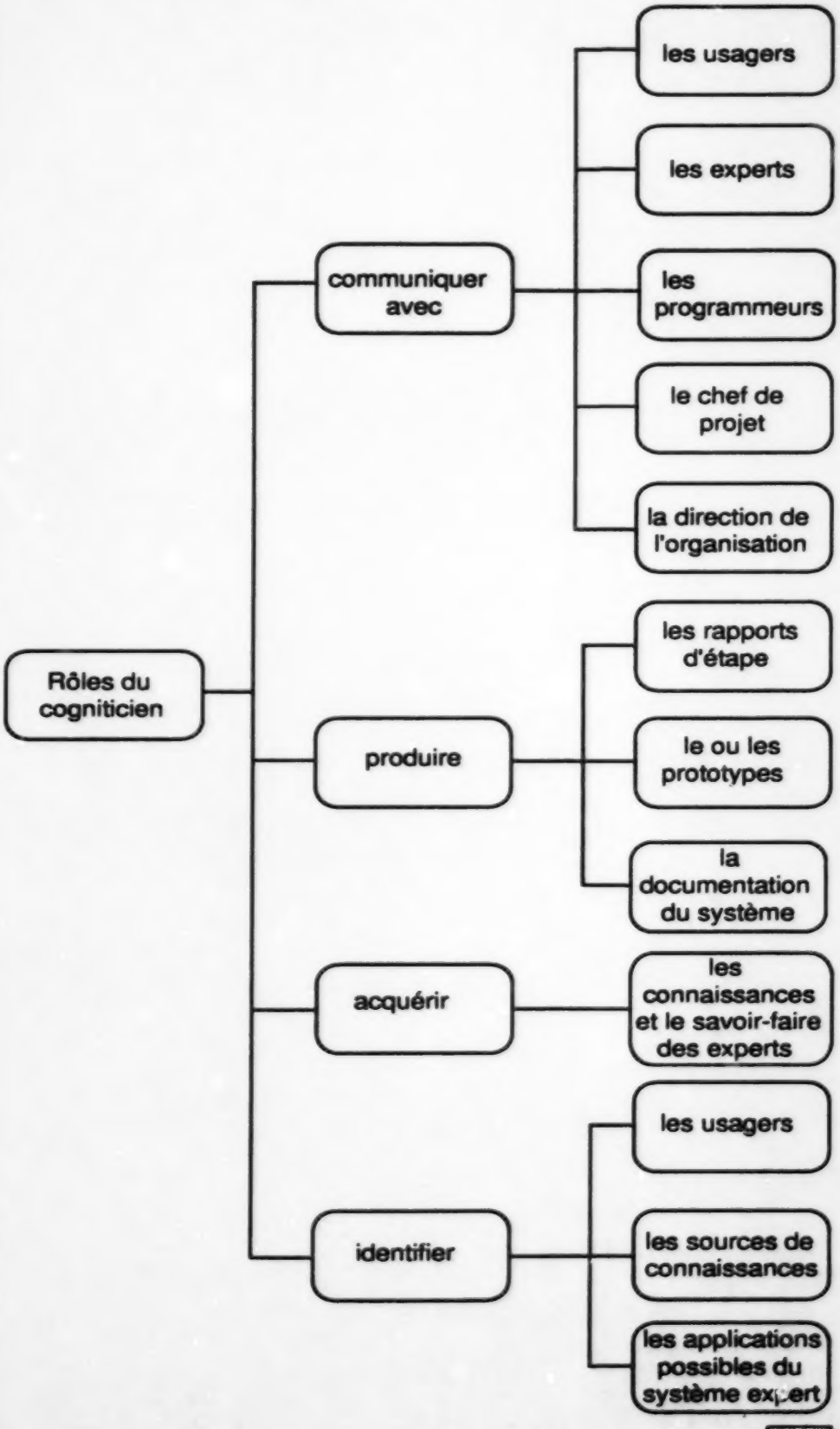
Sont utilisés pour les prévisions météorologiques et démographiques, les prévisions sur l'encombrement des réseaux, l'estimation du rendement des cultures, les prévisions militaires, etc.

8. Les systèmes de support à la gestion

Ces systèmes visent une meilleure productivité dans les tâches qu'effectue quotidiennement l'usager au bureau.

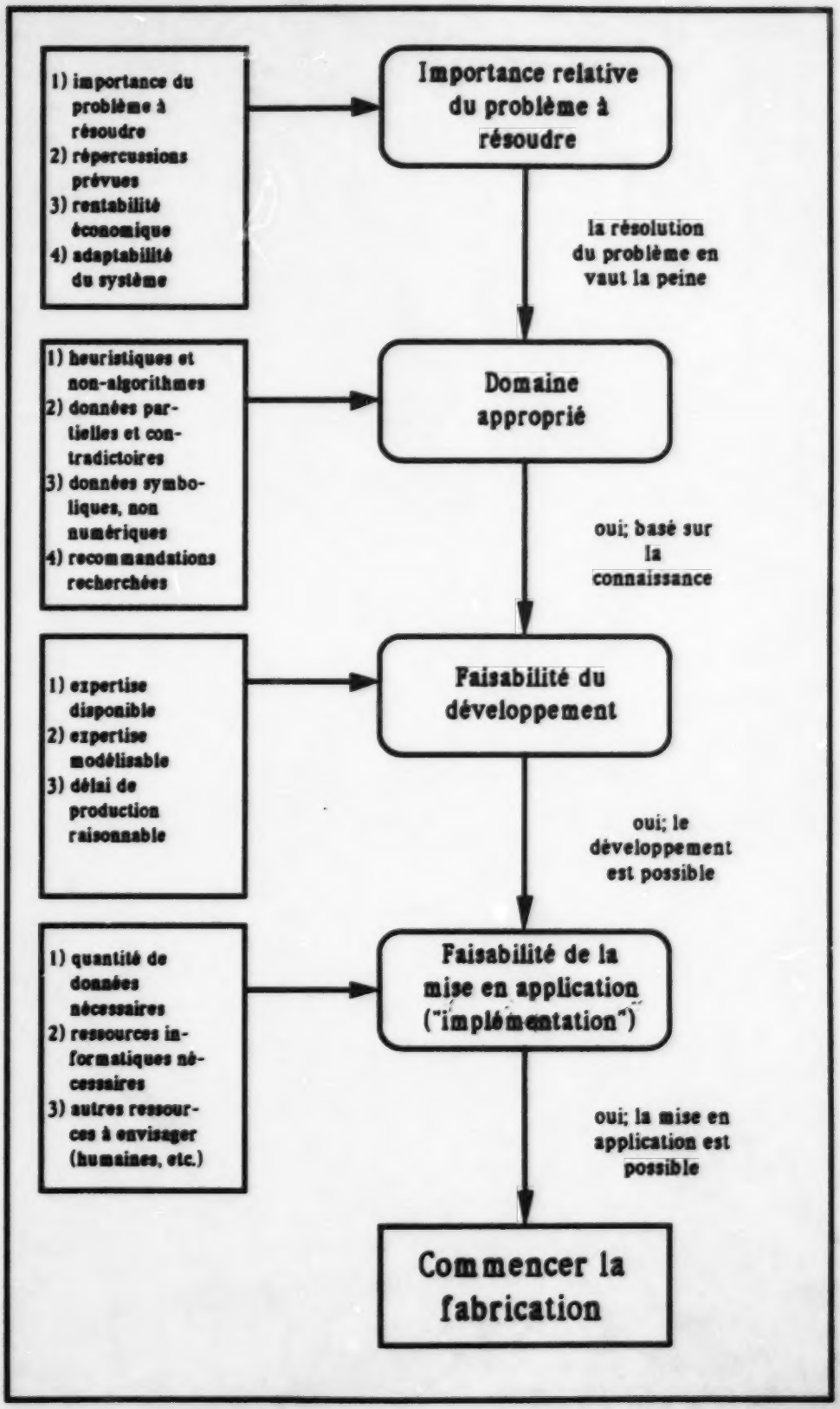
ANNEXE II

Rôles du cogniticien



ANNEXE III

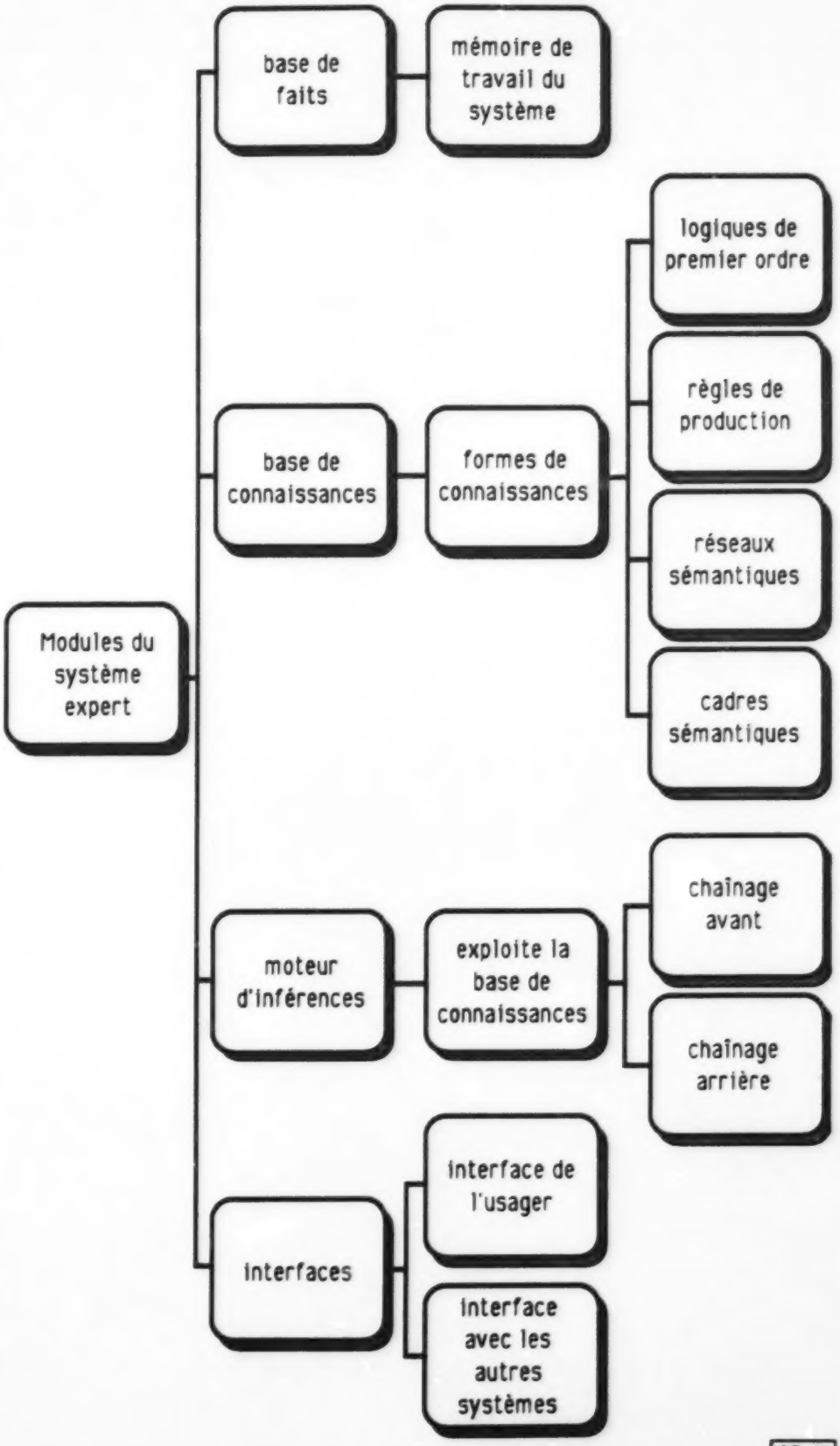
Quand utiliser la technologie des systèmes experts[20]



(20) Adapté de Louis R. Gieszl. The Expert system Applicability Question.

ANNEXE IV

Architecture des systèmes experts - synthèse -



ANNEXE V

Critères d'évaluation des systèmes experts[21]

Aspects techniques

- Le logiciel est facile à modifier si la situation de départ change ou si on veut l'améliorer.

- Le logiciel s'adapte à plusieurs systèmes (ex.: PC et ses compatibles).

- Le logiciel est fiable.

La base de connaissances

- Elle est valide (le logiciel arrive aux mêmes conclusions que l'expert).

- Elle est complète (elle traite tous les cas d'un domaine particulier).

- Elle est structurée selon une organisation logique rigoureuse.

- Elle offre en tout temps à l'usager l'aide nécessaire; elle le dirige bien (explications, notes, etc.).

- Elle offre des résultats *utiles* à l'usager (rapports, tables plutôt que de simples listes).

- Elle utilise un langage clair, sans ambiguités; le niveau de détail est correct (ni trop, ni trop peu).

Facteurs humains

- Le logiciel s'adapte aux usagers et non l'inverse (niveau de connaissances; ex.: un pour l'expert et un pour le novice).

- Le logiciel est avantageux pour les usagers :
  - les connaissances et le savoir-faire des experts sont plus accessibles;
  - le temps pour faire le travail est réduit.

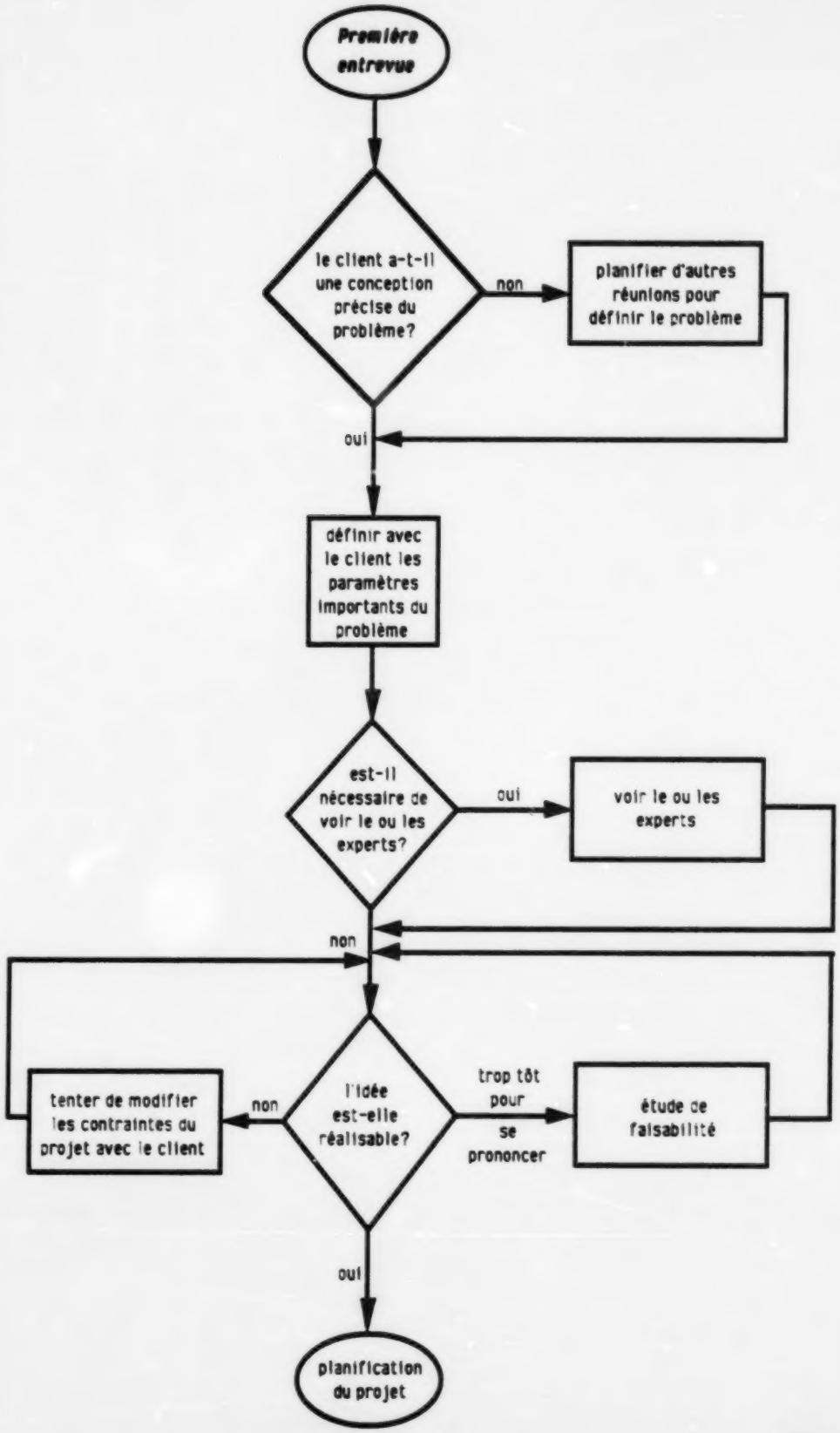
- Le logiciel aide les usagers dans leur travail.

- L'analyse «coûts-bénéfices» est avantageuse.

(21) Adapté de Kimiz Dalkir. A Systems Approach to the Evaluation of Expert Systems. Une liste plus complète de critères d'évaluation est fournie dans le document.

ANNEXE VI

Tableau-synthèse: Négociation



Références

Bonnet, Alain et al. Systèmes experts: vers la maîtrise technique. Paris, InterÉditions (coll. IIA informatique intelligence artificielle), 1986.

Dalkir, Kimiz. A Systems Approach to the Evaluation of Expert Systems. CCRIT, 1988.

Gieszl, Louis R. «The Expert System Applicability Question» dans : Proceedings, *Conference on AI and Simulation*, San Diego, L.A., janvier 1987.

Hayes-Roth, Frederick et al. Building Expert Systems. Addisson-Wesley Publishing Company Inc., 1983.

Grand dictionnaire encyclopédique Larousse. 1980.

Hunt, V.Daniel. Artificial Intelligence and Expert Systems Sourcebook. New York, Chapman and Hall (coll. Chapman and Hall Advanced Industrial Technology Series), 1986.

Luconi, Fred L. et al. Expert Systems and Expert Support Systems : The New Challenge for Management. MIT, Sloan School of Management (coll. Management in the 1990's), 1984.

Morvan, Pierre (sous la direction de). Dictionnaire de l'informatique. 6e édition revue et mise à jour, Paris, Librairie Larousse (coll. Références Larousse), 1986.

Moulin, Bernard et Marie-Michèle Boulet. «De la gestion des données à la gestion des connaissances dans l'organisation» dans : Transformation-Information-Technology Evolving for the Future. Proceedings. Canadian Information Processing Society, 1986, p. 277-282.

Pavel, Sylvia. Vocabulaire de l'intelligence artificielle. Ottawa, Secrétariat d'État du Canada, Direction générale de la terminologie et des services linguistiques.

Petit Robert. 1977.

Polya, G. How to Solve It. New York, Doubleday.

Bibliographie thématique

Bibliographie

Carande, Robert. «Checking out AI sources» dans : AI expert, 3 (6), juin 1988, p. 60-65.

Dictionnaires et lexiques bilingues

AFNOR. Vocabulaire international de l'informatique : traitement de l'information, Paris, AFNOR, 1986.

CANADA. Lexique : informatique, Ottawa, ministère des Approvisionnements et des Services, c1985.

CANADA. Vocabulaire de la technologie du traitement de l'information, Ottawa, ministère des Approvisionnements et des Services, 1984.

Ginguay, Michel et Annette Lauret. Dictionnaire d'informatique français-anglais, Paris, Masson, c1981.

OFFICE DE LA LANGUE FRANÇAISE. Terminologie de l'informatique : états terminologiques et bibliographies, Québec, Gouvernement du Québec, c1983.

Intelligence artificielle : ouvrages généraux

Andriole, Stephen. Applications in artificial intelligence, Princeton, Petrocelli Books, c1985.

Firdman, Henry Eric. Putting artificial intelligence to work, Fallbrook, Henry Firdman and associates, c1988, 2 vol.

Generesereth, Michael R. et Nils J. Nilsson, Logical foundations of artificial intelligence, Los Altos, Morgan Kaufmann, c1987.

Johnson, George. Machinery of the mind : inside the new science of artificial intelligence, New York, Times Books, c1986.

Michie, Donald. On machine intelligence, Chichester, Toronto : Ellis Horwood, John Wiley and Sons (Ellis Horwood Series in Artificial Intelligence), c1987.

Mishkoff, Henry C. Understanding artificial intelligence, Indianapolis, Howard W. Sams and Co. (Sams Understanding Series), c1985.

Saridis, George N. «Artificial intelligence vs machine intelligence : facts and fiction» dans : The Second Conference on Artificial Intelligence Applications in the engineering of Knowledge-based Systems, Washington, D.C., IEEE, Computer Society Press, 1985, p. 144-145.

Scown, Susan J. The artificial intelligence experience : an introduction, Maynard, Digital Equipment Corporation, c1985.

Bibliographie thématique

Intelligence artificielle : aspects économiques

Busch, Earlene Kingery. «Artificial intelligence : why on again, off again?» Teitell, Murray ed., dans : Proceedings of the Third Annual Artificial Intelligence and Advanced Computer Technology Conference, Wheaton, Tower Conference Management, 1987, p. 455-458.

Toda, Iwao. «On the future of AI» dans : ICOT journal, sept. 1987, p. 3-13.

Intelligence artificielle : aspects légaux

Frank, Steven J. «What AI practitioners should know about the law», AI magazine, 9 (2), summer 1988, p. 109-114.

Éthique, philosophie et intelligence artificielle

McCarthy, John. «Epistemological problems of artificial intelligence» dans : Readings in Knowledge Representation, Los Altos, Morgan Kaufmann, c1985, p. 23-30.

McCarthy, John et P.J. Hayes, «Some philosophical problems form the standpoint of artificial intelligence» dans : Readings in Artificial Intelligence, Los Altos, Morgan Kaufmann, c1981, p. 431-450.